

## 〔報告〕 国宝高松塚古墳壁画の材料調査の変遷

著者	佐野 千絵, 早川 泰弘, 三浦 定俊
雑誌名	保存科学
号	48
ページ	119-131
発行年	2009-03-31
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1440/00003746/">http://id.nii.ac.jp/1440/00003746/</a>

## 〔報告〕 国宝高松塚古墳壁画の材料調査の変遷

佐野 千絵・早川 泰弘・三浦 定俊

### 1. はじめに

2007年8月に床石の取り上げが終了し、国宝・高松塚古墳壁画は仮設保存修理施設で、保存処置の方向が模索されている。保存処置の選択、また劣化原因推定において、高松塚古墳壁画を構成する材料（彩色材料・白色下地層・石支持体）についての調査は重要との判断から、材料研究が東京文化財研究所・奈良文化財研究所で進められている。

顔料についてはすでに概報が近年まとめられているのに対して、白色壁を構成する材料については、レビューが十分な状況にはないと考える。そこで本稿では、白色壁を構成する材料についての研究事例を中心に、高松塚古墳壁画の材料調査の歴史を概括し、今後の研究方向について検討する。

### 2. 壁画色料研究の歴史

顔料に関する調査事例について、以下に概要を示す<sup>1)</sup>。

#### 2-1. 『壁画古墳 高松塚』<sup>2)</sup> (橿原考古学研究所編, 1972年10月)

分析試料として発掘土壌中に含まれていた3～4 mm<sup>2</sup>の薄片、数試料を用いて、ペーパークロマトグラフィーで分析している。分析結果は、赤色試料からFe, Hg, Pb, 茶褐色試料からFe, Pb, 黄色部分からFe, 緑・青色部分からCuをそれぞれ検出した。この報告はその手法から、名古屋大学安田博幸氏を中心に行われたもので、より詳細な報告が文献3にも報告されている。

#### 2-2. 『高松塚古墳壁画調査報告書』<sup>4)</sup> (高松塚古墳総合学術調査会, 1973年3月)

分析試料、分析方法とも不明であるが、赤色（濃赤色）は朱、赤褐色はベンガラ、淡紅色（淡赤紫色、白肉色）は朱と白色顔料の混合物、黄色（淡黄色）は黄土、緑色（淡緑色）は岩緑青、青色（淡青色）は岩群青、白色は不明、黒色は墨、この他に金箔、銀箔が用いられているとしている。また下地の漆喰のCaCO<sub>3</sub>の純度は89.0～96.3%で、その他にMgが0.21～0.44%, Pbが0.16～0.37%程度含まれていること、Au中にAgが2.2%, Cuが0.02%含まれていると述べている。この分析は、名古屋大学山崎一雄氏を中心に行われたものであることが、文献5からわかる。

#### 2-3. 『古文化財の科学』, (山崎一雄 思文閣出版, 1987)<sup>5)</sup>

報告書ではないため、上記2報に比べて文献としての重要性にはやや異なりがあると思うが、当時高松塚古墳の分析に関わった数少ない保存科学者の著書であり、ここで取り上げる。

山崎氏は江本義理氏とともに、発見直後から分析に携わっていたことがこの文献からわかる。その記述は端正かつ明解で、橿原考古学研究所が石室内床から集めた剥落片で、壁面上の位置が不明なものについて分析し顔料組成を求め、その使用箇所についての推定がまとめられているほか、漆喰下地についても、カルシウムの純度に関しては山崎（重量法）・安田（容量法）

が、漆喰中の微量成分の分析は江本、安田両氏が原子吸光法で行ったことが述べられている。この著書の中で、表面に再結晶した炭酸カルシウムの薄い層が見られるとの記述がある。同著書内に、漆喰中に含まれる鉛の同位体比測定結果が掲出されている。

#### 2-4. 『文化財をまもる』, (江本義理 アグネ, 1993)

江本氏については、著書の中で榎原考古学研究所から提供された剥落片試料についてX線などの方法で高松塚古墳壁画の彩色顔料成分分析を行い、朱、ベンガラ、岩緑青を分析で確認し、肉眼観察から見る限り使用されている顔料の純度は高いと記述している。没後の出版となり、詳細については記述がないのが惜しまれる。この中で赤色部分について、安田氏が鉛の検出から鉛丹、密陀僧の使用の可能性を指摘しているが、これが顔料そのものに含まれるか、副葬品などからの影響であるかは不明であると述べている。また漆喰についても、山崎氏の分析結果を引いて96.3%と記述している。石灰の出処についてはマグネシウムやストロンチウムを手がかりにすればどうか、との方向が示されている。

上記文献はいずれも剥落片に対して行われた湿式分析で、採取された場所などもあまり明らかではない試料に対しての分析であるのに対して、以下に示す2002~2003年に行われた調査では、現地にハンディ蛍光X線分析装置と高精細デジタルカラー撮影機器を持ち込み、場所が特定されている点に特徴がある。以下に結果を概括する。

#### 2-5. 早川泰弘ら：ハンディ蛍光X線分析装置による高松塚古墳壁画の顔料調査<sup>6)</sup>, (東京文化財研究所, 2004年3月)

蛍光X線分析には、X線管球 Re, 全重量が約2kg, バッテリー駆動で、本体に取り付けたパームトップ型のPC (CASIO 製カシオペア E-800) にデータを取り込む蛍光X線分析装置 (EDAX XT-35) を用いた。装置の先端を壁面から約10mmの距離にセットし、管電圧35kV 管電流8  $\mu$ A で  $\phi$  5mm のX線ビームを照射して分析を行った。測定時間は1ポイント100秒間、天井を含めた全壁面に対して総計173ポイントを測定した。

高精細デジタルカラー撮影<sup>7)</sup>については、材料調査が目的ではなく、壁面および天井面の詳細なカラー画像を撮影することを主要な目的としていた。撮影には、マルチショットタイプ高精細デジタル Back (sinar 社製 デジタル Back 54HR, 44HR) を使用し、壁面の水分の影響を除去するため偏光で撮影した。また有機染料などの検出を目的に、励起光を可視域内に限定した蛍光撮影を行った。照射光源として可変波長光源装置 (POLI Light PL500) を利用し、シングルショットタイプデジタル Back (Kodak 社製 ProBackPlus) を使用して撮影した。この他、偏光近赤外線撮影も行った。

両手法から得られた情報を以下に概括する。

##### イ 白色部分 (白色壁の部分, 絵の下地と余白を分析対象に含む)

高松塚古墳壁画では目視で見える限り白色顔料が使われた様子はなく、下地の白色部分を生かして白が表現されているものと理解している。白色部分については、すべての測定箇所から Ca とともに Pb が検出された。絵が描かれている部分だけでなく、その周囲の白色の壁面からも少量ながら Pb が検出された。絵が描かれている部分の Pb の検出量は、用いられている彩色材料の種類や厚みの違いによってまちまちであったが、絵が描かれていない部分については、絵からの距離に応じて検出量が変化し、ある距離以上離れても少量ながらもほぼ一定の Pb 検出量が得られた。用いたハンディ型蛍光X線分析装置の Pb 検出下限が0.1%前後なので、ここで検出された Pb 量は1973年の報告書で得られた値よりずっと大きいと考えられた。

#### ロ 赤色部分

女子群像の唇、帯、裳、西壁白虎の爪や舌、東壁青龍の首や背鰭、天井の星座連結線などから Hg が検出された。しかし女子群像の赤色上衣からは Hg は一切検出されず、可視光励起による蛍光反応が得られた。西壁・東壁の女子群像および男子群像の中の緑色上衣像には、いずれも赤色の帯が描かれているが同じように、女子像の赤色帯からは Hg が多く検出されたのに対し、男子像の赤色帯からは Hg はまったく検出されなかった。

これまでベンガラの赤色と考えられていた、男子像が肩に担いでいるやや茶色がかった赤色の長袋部分などについて蛍光 X 線分析を行ったが、顕著な Fe を検出することはできず、ベンガラが使われているとは考えにくい結果が得られた。

#### ハ 黄色部分

西壁・東壁女子群像の黄色上衣からは、他の部分と同程度の Ca、Pb の他に、わずかな量の Fe が検出されただけであった。この部分でも可視光励起で軽微な蛍光が見られた。

#### ニ 緑色、青色部分

上衣、裳などの緑色、青色のいずれの箇所からも大量の Cu が検出された。また緑色や青色箇所の蛍光撮影を行うと、そのほとんどの箇所から明瞭な蛍光反応が得られた。緑青や群青のような無機鉍物だけが存在しているのであれば、このような蛍光を発することはないので、銅を主成分とする緑色あるいは青色の絵具の上に、可視光励起によって蛍光を発する何らかの物質が存在していると考えられた。

#### ホ 金色、銀色部分

東壁日像、天井星宿の星などで Au が検出された。西壁月像では Ag が検出された。

#### ヘ 黒色部分

髪や描線などの黒色は近赤外線撮影で黒く撮影されたので、近赤外線を吸収する材料（例えば墨）で描かれていると考えられた。

### 3. 漆喰研究の歴史

白色壁を構成する材料として漆喰の由来、すさや糊についての研究が、発見当初から昭和50年代にかけて、集中的に、また精力的に橿原考古学研究所を中心として行われている。

#### 3-1. 貝灰由来か石灰岩由来か

昭和50年8月奈良県教育委員会発行の橿原考古学研究所彙報「青陵」No.28では、「高松塚古墳石槨内使用漆喰について研究紹介」として、3編の研究を紹介している。漆喰材料研究で集中的に検討されてきた内容は、貝灰由来か石灰岩由来かという点であり、西田史郎氏<sup>8)</sup>は走査電子顕微鏡観察所見から①貝殻の微細構造が見られない、②カルサイトの微結晶も見られないことから、鉍物起源を指示する論調を展開している。一方、山田末利氏<sup>9, 10)</sup>は各種石灰原料を塗りつける実験と観察を通して、貝灰を支持する発表をしている。島倉巳三郎氏<sup>11)</sup>は石槨内漆喰および棺材下床直上の漆喰の2試料について、石灰分を希塩酸で溶解し、残さを遠心分離して集め顕微鏡観察、また一部サフラニン（リグニン質細胞膜が染まる）あるいはゲンチアナ・バイオレット（セルロース質等の細胞膜が染まる）染色およびヨードデンプン反応などの試験を行った結果から、①2試料は内容物において全く等しい、②高等植物繊維は含まない、③下等植物の葉状体類似の柔組織状のものが見いだされる、④デンプンの反応は認められないと述べ、つなぎについてはフノリのような海藻を混ぜたものと述べているが、スサの使用については不明、原料が貝殻か石灰岩かについて決められなかったという結論に帰着している。原

料の出処については、炭酸カルシウム中の炭素のアイソトープ $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比を指標にしたかどうか、との提言を残している。

安田博幸氏は、「古代漆喰の化学分析で新しく得られた二、三の知見について」<sup>12)</sup>の中で『高松塚調査中間報告書』（橿原考古学研究所，1972年）での報告内容に触れ、白石太一郎氏が収集した畿内・上野国所在の漆喰使用古墳の漆喰片もあわせて化学分析した結果から、所在地域と漆喰主成分の炭酸カルシウム含量との間に相関があることが述べられている。本報告中には、高松塚古墳漆喰5試料（白色表面層含有部分，西壁婦人像下部，棺－東壁中間部，東壁中央青竜下部，西壁棺周辺部，試料名については原文のまま転載）および既報の古墳漆喰すべてについて、原子吸光分析法による分析値を掲載している。化学分析の際にはカルシウム含量，鉛含量だけでなく，マグネシウムや鉄の含量にも注目が必要であることを指摘し，特にマグネシウム含量については漆喰原料の由来を検討する上での一つの指標になり得ることを強調している。

また，安田氏は，「古代赤色顔料と漆喰の材質ならびに技法の伝流に関する二、三の考察」<sup>13)</sup>の中で，貝灰説の方が妥当性があると論調しているが，同考察内に韓国内古墳の漆喰の分析値を表出し，①新羅国に属する高霊の壁画古墳の漆喰の純度が高く（94～95%），貝殻を原料とする技法下にあったこと，②百済国に属した地方の古墳の漆喰は純度が82%を最高として貝殻片等が見いだされないこと，を著している。この詳細な報告が文献14にまとめられている。安田氏から，漆喰片の化学分析からより多彩な情報を引き出し得ること，特にカルシウム・マグネシウム比を指標とした原料産地推定に結びつく新たな情報の集積のために，一層の分析研究の進展を期待するとの意見があるが，その期待に応えられていない現状がある。

中口裕氏は光学顕微鏡の観察結果から貝灰に特有の構造を提示し<sup>15)</sup>，高松塚漆喰の中にこれらの特有な構造があること，また貝殻特有の構造を軸として再結晶で成長したと思われる方解石結晶構造が見られることを報告し，貝灰説を採っている。

### 3-2. 鉛の検出

安田博幸氏が提起した<sup>13)</sup>いくつかの大きな謎の一つとして「高松塚古墳の漆喰のみに著量の鉛成分が検出される謎」と書き記されている。この鉛についての研究状況を以下に概括する。

寺田ら東京芸術大学美術学部高松塚古墳壁画再現研究班が，飛鳥保存財団より委託されて，昭和49年6月～昭和51年3月に，高松塚古墳壁画再現研究<sup>16)</sup>を行っている。この研究は，「高松塚古墳壁画 西壁女人群像を調査し，その審美性と作画技法の秩序を究明して，原壁画の材質美，作画技法，組成構造を再現研究によって，創造的模造模写を試み，広く実体の審美性を紹介」する目的でおこなわれたもので，当時の壁画の状況をうかがい知ることのできる大変重要な記録の1つである。研究分担組織を表1に示す。石材，漆喰，白色層（下地および仕上げ

表1 研究分担組織

研究計画，製作企画ならびに作画	寺田春式
理化学的調査，研究ならびに資料作成	岩崎友吉・江本義理
研究作業上の管理運営	降天組人
模写用壁体石材の組み合わせ設計ならびに製作	麻生秀保・森和正
壁画素地試作作業	A班 渡辺喬一，小川美枝子，寺田栄次郎， B班 中沢一郎，鈴木民保
模造，模写，作画	寺田春式，川合多喜子，鈴木民保



層)について技術者、制作者、科学者が共同しておこなった総合的な実証研究で、白色下地層については①剥落片の分析からその組成は炭酸カルシウム95.05%, 鉛0.28% (分析方法不明)であった, ②塗り厚2~7ミリ (クロスセクション試料の走査電子顕微鏡観察結果), ③骨材, すさは使用されていない (走査電子顕微鏡二次電子像), との報告がある。

また, 実際に制作する立場の者としての壁画観察から④白色層は緻密である, ⑤壁画面は磨かれていて表面はなめらかであり, 下塗りがあったとは思われない, ⑥ふくらんでいるところがある, ⑦布目あとがある, ⑧皺があるところがある, ⑨壁画面天地は塗り厚がうすい, ⑩壁画面の凹凸が連続して何らかの動きが読みとれる (100~200ミリ幅, 描画部分とその周辺に著しい), ⑪剥落部分の形態から数層の塗り重ねがあった, などの指摘がある。

寺田らは再現研究による創造的模造模写の研究を通して, わずか2回ではあるが, 小型の標準光源 (CIE D65, スガ試験機株式会社, 色温度6,500K, 型式 F65D-AP, 515 x 270 x 130mm, 15Wx2 (マスク1), 明るさ 距離50cm で1,200lux) を石室内に持ち込み (「高松塚古墳壁画再現研究報告」pp.65), 原壁画の観察と彩色調査をおこなっている。この報告の中で, 白色漆喰層について「墓室内空間の雰囲気を醸成する灰色基調の下地拵えで」(Ⅱ部5. 制作過程 (作画記録) pp.1), という興味深い記述がある。より詳細な記述を, やや長文ではあるが, 原文のまま下記に引用する。

「次に原壁画の調査時に感受した墓室内の灰色基調の存在について, 調査時には原壁画が示す灰色基調の造成に鉛白の利用があるのではないかという疑点を持ったのである。このことは鉛白の理化学性が持つ暗所に置けるイエローイング現象からの想起であるが, たまたま東京文化財研究所の江本氏にその確認を求めたところ壁画の剥落片からビーム反応のあることが立証されたのである。

更に前述した墓室内の灰色基調は室内の空間構成に幽玄な雰囲気を醸成するためのものではないかと考えたのであるが当初それを論証するまでにはいたっていなかったのである。

然し, このことの再現は可能であったがこの種のものとして記録・文献の確証を求めたく考えていたところ東京文化財研究所の上野アキ氏から中国では星宿を描く天井面 (墓頂) について永泰公主墓では深灰色を用いたことや, 「唐墓壁画」(1959.8文物) に墓室頂部に「各別的墓内墓室頂部絵有蔚藍的天空及日, 月, 星晨, 銀河等自然現象」と書かれていることから施工事実のあることを知らされたのである。」(原文まま, (Ⅱ部5. 制作過程 (作画記録) 文献16 pp.3)) 蔚藍天とは濃い藍色の空を指す表現であり, そのまま灰色にはつながらないようにも思えるが, 標準光源を用いてかなりの明るさの中で色彩を画家が判断したという事実から, 寺田らが模造のために原壁画を観察した昭和51 (1976) 年2月当時には, 白色下地層は灰色味を帯びて見えたのは事実であろう。

採取場所のある程度わかった試料の分析結果として, 石室内南面下部にあった剥落片の分析結果として, 沢田正昭氏が報告<sup>17)</sup> したものがある。沢田氏はEPMAの結果から, 約1mm厚さの漆喰剥落片の表面にも側面にも鉛は均質に分布していることをから明らかにした。またその化学形はX線回折の分析結果から, 塩基性炭酸鉛 (鉛白) であることを述べている。

### 3-3. 白色壁の製作技法

寺田らは模造のために, 白色層の構造についても研究を展開している。「幸いにして得られた一片の原壁画白色層の微小片」(文献16 pp.38) について, 電子顕微鏡写真を撮影している。原文を下記に引用する。

「原壁体のものは数層の塗り重ねのように見受けられ, また内部に糸状の構造が散在するの

も見受けられた。ここに収録した写真は当班から提供した資料について専門家が撮影したもので解説について種々有益な示唆を受けた。

No.1 塗り重ねの層あり。粒子の重なり具合からよく練った塗材と思われる。塗装の際とじこめたと思われる気泡がある。塗り重ねの方向と平行に糸状の物質がある。

No.1 のA 表層および表層から内部に達する亀裂部にガラス状物質が見える。これは再結晶した炭酸カルシウムと思われる。亀裂に生じたガラス状物質を境として多孔質な部分と緻密な部分が隣接している。緻密な部分は当初の塗装の密度を保っているものではないかと思われる。

No.1 のB 表層および亀裂部分に再結晶した炭酸カルシウムと思われるガラス状物質がある、当初のものらしい気泡が見える。この試料にも多孔質と緻密な部分とが存在する。」

報告された電子顕微鏡画像にはスケールが記されていないため、漆喰層の厚みについて情報はない。しかし、報告書の掲載写真の縦横比は4.5X6であり、またその当時おそらく、東京国立文化財研究所では日本電子(株)(当時)製の機器を用いていたこと(おそらく日本電子(株)の厚意で撮影されたものではないかと推測している)、電子顕微鏡画像撮影はブローニー型フィルムで長時間露光していたことなどから推測して、佐野が撮影した電子顕微鏡写真と直接比較した結果、江本が撮影した漆喰剥落片写真に写った扁平な糸状の構造は幅約10 $\mu$ mで、塗り重ね層は少なくとも2層あり、上層厚0.05mm、中層厚0.3mmとわかる。下層は、電子顕微鏡で見る限りかなりポーラスであり、この部分が漆喰であるとする多量の糸状のものが混ざられていた痕跡のようにも見える。しかし、劣化した石の電子顕微鏡写真などと注意深く比較検討する必要がある、断定は避けたい。

スサについては、技術的には紙スサの使用が妥当と考えている研究者は他にもいたが、その物証を伴った報告例は他にはない。島倉が文献11の中で述べているとおり(先述)、いずれの研究者も高等植物繊維を見だしておらず、スサの使用について、また使用したのであればその材料種類については依然として不明な状況である。バインダー(糊、ミディアム、メジウム、膠着剤などと記述されている)の使用については、下等植物の葉状体類似の柔組織状のものが見いだされることから(島倉、文献11)、フノリのような海藻を混ぜたものと考えられている。

以上の報告から、高松塚古墳壁画の白色壁を構成する材料については、下記の知見がすでに得られていると考えている。

- i. 高松塚古墳壁画の白色部分の一部は、分厚い下塗りと何層かの緻密な構造で構成されている。
- ii. 最上層には塩基性炭酸鉛が検出される。最上層厚さ約0.05mmの観察像の報告例がある。
- iii. 中間層にも鉛を含む。中間層厚さ約0.3mmの観察像の報告例がある。

#### 4. 高松塚古墳壁画の材料に関わり、これまでに確認できた事項

文化庁文化財部美術学芸課から提供された、2002年1月28日に採取された高松塚古墳石室内の剥落した漆喰片を用いて、これまでに以下の研究が行われているが、新知見というほどの質の情報ではなく発表されなかったため、文献資料として利用可能な状況になく、その研究情報が埋もれていた。再考してその情報を見直し、その研究成果を報告したい。

##### 4-1. 高松塚古墳漆喰片の鉛分布に関する新データ

今回の資料収集の過程で、奈良文化財研究所において、X線分析チャートが発見され、肥塚

隆保氏が高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会（第2回）において行った「壁画の顔料・描線等の劣化について（材料・技法の調査に関する計画）」の発表の中でその一部を公開した。チャート紙の裏には山崎一雄氏の添え書きがあり、「これはJEOL（当時名称：日本電子（株））で測定した、しっくい片の表面から裏面への断面の鉛の分布のようです。表面に鉛があるようですが、説明がなく、よくわかりません。江本氏からもらったものです。2004年7月29日」とあった。また、「1972年4月15日（調査委員会は4月5、6日）に橿原考古学研究所で江本義理とともに担当者（担当者名記載あり）からしっくい破片などとともにガラス玉2種を受領した。」とあり、壁画発見直後に専門家に対して分析用試料提供があったことがわかる。

図1にチャートの一部を示す。チャートの長さから、試料の厚みは漆喰部分で3.16mmのもので、試料片Cあるいは計測ポイントCと呼ばれている。形状についても、図1-1に手書きの図からわかる。鉛成分は表層に、特に表面から40 $\mu$ mの位置に多く見だされている（図1-1）。また図1-2に見られる石の部分に比較して、漆喰層中ではいずれの場所も鉛の反応が見られ、内部でも鉛が存在すること、特に石から約60 $\mu$ mの部分でもやや大きめのピークが見られる。表面に多量の鉛があり、絵の描かれていない余白についてもほぼ一定量のPbが検出される点は、早川<sup>6)</sup>の報告と整合性が良い。寺田らの報告にあった内容とも合致しているが、同一資料かどうかは不明である。

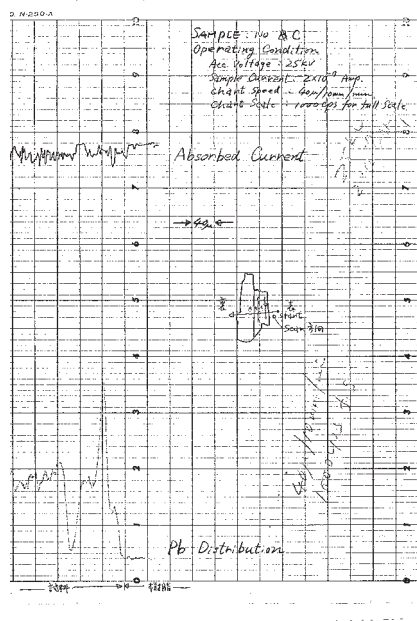


図1-1

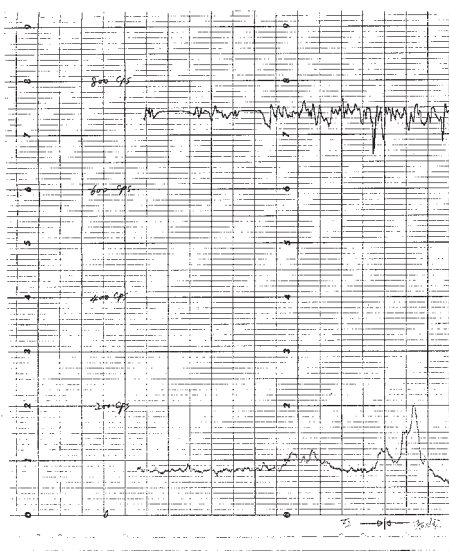


図1-2

図1 高松塚古墳漆喰片の鉛分布測定結果（計測：江本義理氏）

#### 4-2. 高松塚古墳石室内剥落片試料のX線分析結果

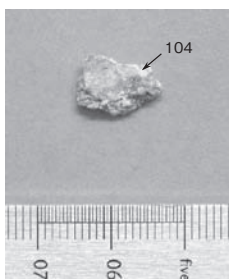
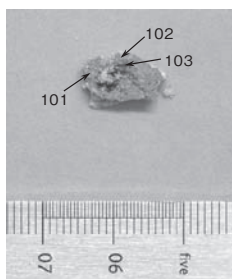
2002年1月28日に採取された剥落片の中から、7試料を選んで、その特徴的な部位を測定した。試料概形を写真に示す。このうち試料1は細孔径分布測定用試料に供したため、粉体として残っている<sup>18)</sup>。蛍光X線分析およびX線回折分析については、以下の条件である。



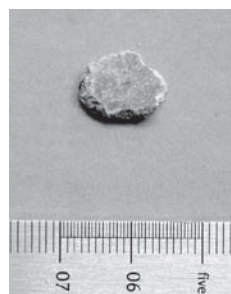
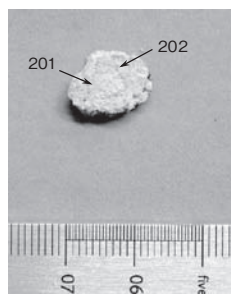
イ 蛍光X線分析 (XRF): セイコーインスツルメンツ (株) 微小部蛍光X線分析装置 SEA5230E  
 条件①: Mo 管球, 管電圧50kV, 管電流 1 mA, 照射径 $\phi$ 0.2mm, 測定時間100秒, 大気中  
 条件②: Mo 管球, 管電圧50kV, 管電流 1 mA, 照射径 $\phi$ 0.2mm, 測定時間100秒, 真空中  
 ロ X線回折分析 (XRD): (株) マックサイエンス X線回折装置M18XHF (微小部X線回折)  
 X線管球: Cu, 管電圧40kV, 管電流100mA, 照射径 $\phi$ 0.1mm, 測定時間1800秒  
 分析結果を表2に示す。以下に概括するが, 特に新たな画材情報はなく, 既報<sup>2-5)</sup>の通りであった。

- ・試料1, 5, 7で Auが見いだされた (大きさ0.1~0.5mm)。XRF, XRD 分析は試料1 (測定 No.101) の金色部についてのみ実施した。
- ・試料5の測定 No.501 (黒色部), 503 (赤色部) において, XRF で Hgを検出し, No.503 については XRD で HgSを同定した。
- ・試料1の測定 No.103 (黒色部) では, XRD で  $\text{CaCO}_3$ とともに  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ を同定した。他の多くの試料においても, XRF で Feを検出したが, XRD では Fe化合物を同定することができなかった。これは XRD 管球が Cu であり, Fe化合物に対する検出感度が悪いことも理由の一つと考えられた。
- ・試料6の測定 No.601 (黒色部) では, XRD で岩石成分に由来する  $\text{Na}_2\text{AlSi}_3\text{O}_8(\text{OH})$ を同定した。
- ・多くの試料において, XRF で Pbを検出したが, XRD で Pb化合物を同定することはできなかった。
- ・他の試料については, 黒色・茶色・灰色成分等を同定することはできず,  $\text{CaCO}_3$ に由来する回折ピークが得られただけであった。

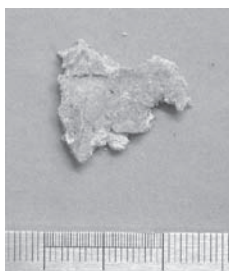
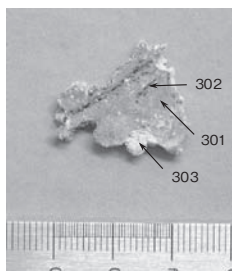
【高松塚剥落片 試料1】



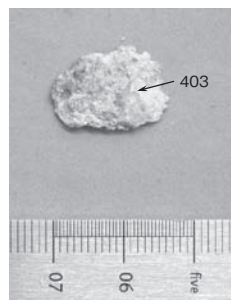
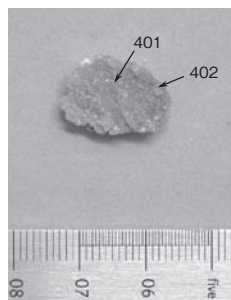
【高松塚剥落片 試料2】



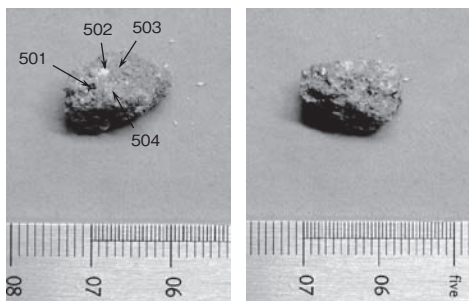
【高松塚剥落片 試料3】



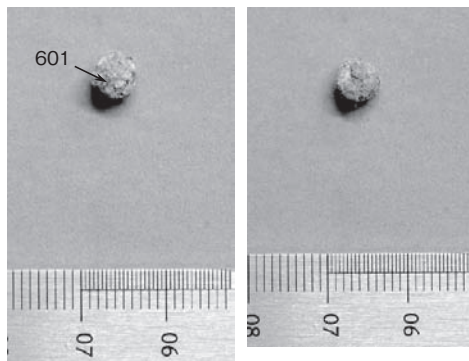
【高松塚剥落片 試料4】



【高松塚剥落片 試料5】



【高松塚剥落片 試料6】



【高松塚剥落片 試料7】

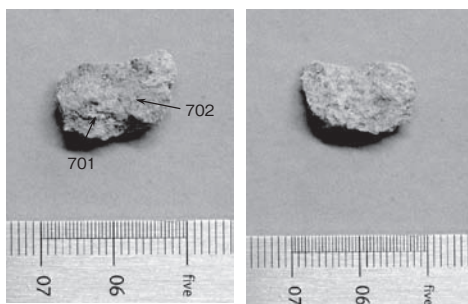


写真1 高松塚古墳石室内剥落片試料（2002年1月28日，提供：文化庁）

表2 高松塚古墳剥落片試料のX線分析結果

測定 No.	試料	測定部位	XRFによる検出強度 (cps)*											XRDによる同定成分 (Pb-Ma)	
			Al - Ka	Si - Ka	S - Ka	K - Ka	Ca - Ka	Ti - Ka	Fe - Ka	Cu - Ka	Sr - Ka	Au - Lβ	Hg - Lβ		
1 101	試料1	微小金色部	条件①				5.4		3.5			13.6		Au	
			条件②				0.8		0.5			3.3			
2 102	試料1	茶色地	条件①				15.2		7.2		2.5			2.5 CaCO <sub>3</sub> + ?	
			条件②	0.5	1.4		9.4		1.8					0.2	
3 103	試料1	黒色部	条件①				15.4	0.9	28.3	1.8	2.6			3.0 CaCO <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
			条件②	0.5	1.2		4.9	0.3	5.0					0.3	
4 104	試料1	白色部	条件①				14.1		3.3	0.7	1.3			9.4 CaCO <sub>3</sub>	
			条件②		0.3		18.5							0.3	
5 201	試料2	白色表面	条件①				25.3	0.3	0.7	0.9	1.3			2.2 CaCO <sub>3</sub>	
			条件②		0.2		16.5								
6 202	試料2	薄黒色線	条件①				27.6	0.2	0.9	1.3	1.3			2.7 CaCO <sub>3</sub>	
			条件②		1.2		4.0		0.7						
7 301	試料3	茶色表面	条件①				16.3	0.4	7.8	0.4	1.1			4.4 CaCO <sub>3</sub>	
			条件②	0.5	1.5		10.2		1.2						
8 302	試料3	黒色線	条件①				6.8	0.5	16.2	0.6	1.0			2.1 CaCO <sub>3</sub>	
			条件②				1.1		0.1						
9 303	試料3	白色下地	条件①				16.2		0.3		1.1			4.7 CaCO <sub>3</sub>	
			条件②				19.7								
10 401	試料4	灰色表面	条件①				3.5	0.8	24.9	1.1	1.9			1.7 (物質同定できず)	
			条件②	0.4	1.7		3.2		2.4						
11 402	試料4	赤茶色部	条件①				1.6	0.7	34.9	0.7	2.4			1.5 (明瞭な回折ピークなし)	
			条件②	0.6	1.8	0.1	1.5		6.9						
12 403	試料4	白色部	条件①				22.4		1.6	0.6	1.7			2.6 CaCO <sub>3</sub>	
			条件②				15.0								
13 501	試料5	微小黒色部	条件①				2.7	0.8	25.1	1.8	2.9		1.8	2.0 (明瞭な回折ピークなし)	
			条件②		0.8	0.4	0.5		2.7						
14 502	試料5	白色部	条件①				16.2	1.2	13.7	1.2	1.9			3.4 CaCO <sub>3</sub>	
			条件②		0.2		16.3								

測定 No.	試料	測定部位	XRFによる検出強度 (cps)*												XRDによる同定成分
			Al - Ka	Si - Ka	S - Ka	K - Ka	Ca - Ka	Ti - Ka	Fe - Ka	Cu - Ka	Sr - Ka	Au - Lβ	Hg - Lβ	Pb - Lβ	
			(Pb - Ma)												
15	503	試料5 微小赤色部	条件①					2.0	0.6	132	0.9	2.6		1.7	1.9 HgS
			条件②	0.4	2.3	0.3	0.4	0.8		1.2					
16	504	試料5 茶色地	条件①					3.7		132	1.1	2.6			1.6 CaCO <sub>3</sub>
			条件②	0.5	1.9		0.4	5.0		3.8					
17	601	試料6 黒色部	条件①					24.5		17.8	3.5	3.1			5.2 Na <sub>2</sub> AlSi <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (OH)
			条件②		2.2		0.4	1.7		1.3					
18	701	試料7 白色地	条件①					1.1	0.3	6.5	0.5	2.4			0.9 (明瞭な回折ピークなし)
			条件②	0.3	2.0		0.3	0.9		0.9					
19	702	試料7 茶色地	条件①					1.5	0.6	15.8	1.1	2.3			1.2 CaCO <sub>3</sub>
			条件②	0.4	2.2		0.4	2.3		1.8					

\*バックグラウンドを含む総強度  
条件①と条件②ではX線照射条件が異なるため、X線強度の比較を行うことはできない。

4-3. 南閉塞石塗り込めのための漆喰の走査電子顕微鏡写真<sup>19)</sup>

文化庁より提供を受けた石室閉塞石塗り込め用（取合部にて採取されたもの）と見なされる漆喰片について、走査電子顕微鏡写真を示す（写真2）。表面観察では、いずれも緻密な構造が観察された（写真2-2～2-4）が、折り割った断面を観察すると、節のある20μm径の植物繊維痕跡と見られる形状（垂直方向の繊維状のもの、写真2-1）も認められた（水平方向に見られる数μm径の繊維状のものは、その太さからカビの菌糸と推察される）。紙すきさを混ぜたとする既報<sup>9, 12, 15)</sup>を支持する結果であるが、中口氏の検鏡結果<sup>15)</sup>との比較もさらに必要と考えている。

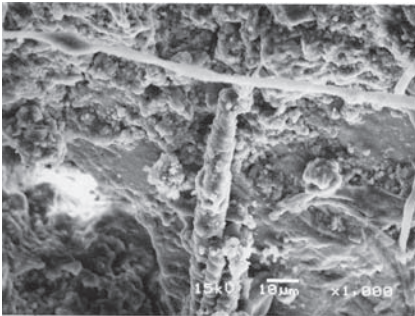


写真2-1

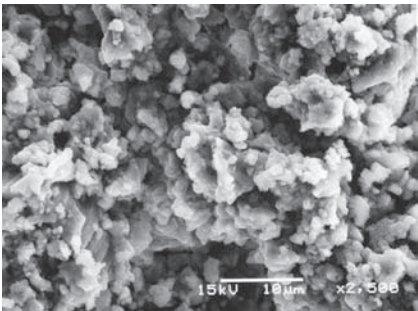


写真2-2

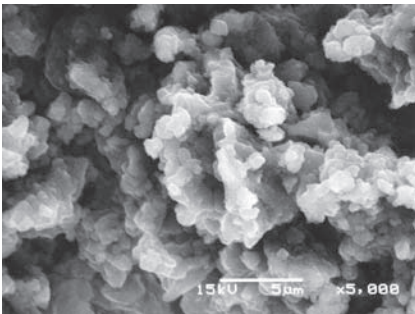


写真2-3

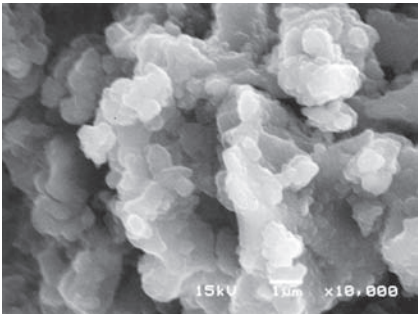


写真2-4

写真2 高松塚古墳 取合部目止め漆喰の剥落片の電子顕微鏡写真（撮影：佐野千絵）

## 5. 終わりに

高松塚古墳壁画材料について、これまでに行われた研究事例と、文化庁提供の石室内で採取された剥落片等を分析・観察した結果をまとめた。その結果、顔料については文献6で概括された結果を支持する結果が得られた。白色壁材料については白色壁が緻密な数層で構成され、最上層に塩基性炭酸鉛を含み、中間層にも鉛を含むことが再確認できた。しかし、漆喰原料については貝灰由来か石灰岩由来か、スサの使用の有無、バインダー種類については不明のままにあることがわかった。

高松塚古墳壁画の保存作業においては、石室内床面に落ちた状況で拾われた剥落片試料のほか、2007年の石室取り上げ作業の過程で取りはずされた目地漆喰（石と石のつなぎ目に固着）、取り上げ作業直前に保護するため取りはずされた余白漆喰（石と石をまたいだ部分の絵画下地）、取り合い部で閉塞石を塗り込めるために使用された漆喰塊など、いろいろな漆喰材料が収集された。これら試料の一部に対しては今後さまざまな分析・評価が施され材料や劣化について新たな情報が得られていくと考えられる。古代の技法について重要な知見を得られる試料であり、その分析等の有効性について詳細に検討し、成果につなげていく所存である。

### 謝辞

文献収集にあたりご尽力いただいた明日香村教育委員会相原嘉之氏、奈良県立橿原考古学研究所宮原普一氏、奥山誠義氏、正倉院事務所成瀬正和氏、古墳壁画室、東京文化財研究所市川久美子氏にこころから感謝いたします。また江本氏計測の高松塚古墳漆喰剥落片X線分析チャートは、奈良文化財研究所肥塚隆保氏からご提供いただきました。記して感謝いたします。

### 引用文献

- 1) 三浦定俊：過去の材料調査について、高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会（第3回）資料、平成20年9月30日、文化庁
- 2) 橿原考古学研究所編：『壁画古墳 高松塚』調査中間報告書、奈良県教育委員会・奈良県明日香村、(1972)
- 3) 安田博幸：高松塚古墳の壁画顔料について－その化学的調査－、仏教芸術 87 高松塚壁画古墳特集、20-23 (1972)
- 4) 高松塚古墳総合学術調査会：『高松塚古墳壁画調査報告書』、(1973)
- 5) 山崎一雄：『古文化財の科学』、思文閣出版、pp.62-68 (1987)
- 6) 早川泰弘・佐野千絵・三浦定俊：ハンディ蛍光X線分析装置による高松塚古墳壁画の顔料調査、保存科学、43号、63-77 (2004)
- 7) 城野誠治：壁画の画像形成について、『国宝 高松塚古墳壁画』、文化庁監修、中央公論美術出版、pp.17-19 (2004)
- 8) 西田史郎：高松塚漆喰・貝粉・石灰粉の走査電子顕微鏡写真、青陵、橿原考古学研究所、昭和50年8月号 No.28、5 (1975)
- 9) 山田末利：各種材料による実験結果、青陵、橿原考古学研究所、昭和50年8月号 No.28、8-9 (1975)
- 10) 山田末利：『高松塚壁画漆喰の材質及び工法の研究』、(印刷所等不明)、後書き日付昭和49年5月23日
- 11) 島倉已三郎：高松塚の漆喰調査、青陵、橿原考古学研究所、昭和50年8月号 No.28、1-4 (1975)

- 12) 安田博幸：古代漆喰の化学分析で新しく得られた二、三の知見について、『橿原考古学研究所論集 3 創立35周年記念』, pp.871-879, 吉川弘文館, (1975)
- 13) 安田博幸：古代赤色顔料と漆喰の材質ならびに技法の伝流に関する二、三の考察、『橿原考古学研究所論集 7 創立45周年記念』, pp.449-471 (1984)
- 14) 安田博幸・井内功・向井恵子：慶州・九政里古墳の壁面漆喰と漆喰付着の色彩物質の分析, 考古学雑誌, 61巻43号, 35-43 (1976)
- 15) 中口裕：高松塚漆喰と貝殻石灰の同定 (予報), 青陵, 橿原考古学研究所, 昭和52 (1977) 年 2月号 No.32, 1-4 (1977)
- 16) 寺田春弐監修, 岩崎友吉編集：「高松塚古墳壁画再現研究報告」, 東京芸術大学美術学部高松塚古墳壁画再現研究班, 飛鳥保存財団による委託事業, 研究期間昭和49年 6月～昭和51年 3月, (1976)
- 17) 沢田正昭：顔料の調査研究法, 『日本の美術 美術を科学する』, 400号, 69-73 (1999)
- 18) 文化庁：漆喰壁の物理的性質, 国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会 (第3回) 参考資料 6, 平成17年 5月11日, (2005)
- 19) 佐野千絵・大野彩・福岡葉子：高松塚古墳壁画描画技術に関する実証的研究ーブロン・フレスコとセッコー, 文化財保存修復学会第27回大会研究発表要旨集, 154-155 (2005)

キーワード：高松塚古墳 (Takamatsuduka Tumulus)；画材 (pigment)；漆喰 (plaster)；材料調査 (analysis)；壁画 (mural painting)



## Review of the Scientific Analysis on the Painting Materials of Takamatsuzuka Tumulus

Chie SANO, Yasuhiro HAYAKAWA and Sadatoshi MIURA

The mural painting in Takamatsuduka Tumulus is famous for its vivid color when it was excavated in 1972. It is also the first painting designated as a national treasure in Japan. There are many reports written by scientists and archaeologists on the painting materials in Takamatsuduka Tumulus from the beginning of its discovery until now. In this paper, we surveyed the scientific studies of the pigments and the base material used in Takamatsuzuka Tumulus and reconsidered what issues are still left from the point of view of material study. We hope that this review contribute to further study in obtaining information on the painting technique as well as materials of ancient burial ceremonies.

